УДК 550.4:628.4

ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ ОТХОДОВ ГОРНОДОБЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ РЕСПУБЛИКИ ХАКАСИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДА БИОТЕСТИРОВАНИЯ

С.В. Азарова*, Е.Г. Язиков*, Н.Н. Ильинских**

*Томский политехнический университет. E-mail: svst@mail2000.ru

**Сибирский государственный медицинский университет, г. Томск

Представлены результаты геохимического анализа проб отходов горнодобывающих предприятий Республики Хакасия и их биотестирования. При биотестировании в эксперименте с использованием тест-объекта Drosophila melanogaster оценивались: соотношение полов, морфозы, высота подъема куколок, средняя длина тела и крыла по отношению к концентрации пробы в среде. Сделаны выводы о воздействии отходов на живые объекты, выделены химические элементы, оказывающие токсическое действие.

Введение

Масштабы формирования отходов производства в России характеризуются величиной порядка 2,6 млрд т в год, тогда как средний уровень использования отходов составляет около 36 %. Суммарное накопление неиспользуемых отходов оценивается ориентировочно в 90 млрд т, в том числе токсичных отходов свыше 2 млрд т. На долю предприятий черной металлургии и угольной промышленности в 2001 г. токсичных отходов приходилось 39,30 млн т и 11,45 млн т соответственно [1].

Ведущую роль в хозяйственной деятельности Хакасии занимает горнодобывающая промышленность. Проведенная неполная инвентаризация объектов размещения отвалов и отходов предприятий показала, что масса вскрышных вмещающих пород и хвостов обогатительных фабрик составляет – более млрд т, а площадь размещения их – не менее 3 тыс. га [2]. Учитывая масштабы распространения и объемы накопления промышленных отходов, а также существующие официальные нормативные расчеты, которые не могут дать полного анализа воздействия отходов на живые организмы, авторами частично восполняется данный пробел.

Целью и задачей исследований являлась оценка экологической опасности отходов горнодобывающих предприятий Республики Хакасии на основе геохимического анализа и метода биотестирования (тест-объект *Drosophila melanogaster*).

Материал и методика

Изучены пробы отвальных хозяйств, шламоотстойников, хвостохранилищ и золошлаковые отходы горнодобывающих предприятий Республики Хакасия, включающие Тейское месторождение железа (АООТ "Тейское рудоуправление"), Кибик-Кардонское месторождение мрамора и Изербельское месторождение гранитов (ОАО "Саянмрамор"), а также Бейское месторождение угля (ОАО "Угольный разрез Чалпан").

В пробах отходов горнодобычного производства проведено количественное определение элементов следующими методами: атомно-эмиссионным с индуктивно-связанной плазмой (B, Ni, Mn, Cu, Zn, Ba, Sr, Nb, Cr, и V); атомно-абсорбционным с электротермической атомизацией (Pb, Cd, As, Co и Se); атомно-абсорбционным "холодного пара" (Hg) и потенциометрическим (F). Анализ проводился в аналитической лаборатории АО "Механобор-Аналит", г. Санкт-Петербург, аккредитованной в системе Госстандарта РФ (регистрационный номер в Госреестре № RSSG.RU.001.6.1.0011) и ЦСИ Минприроды РФ (регистрационный номер № ЦС-104 от 03.06.1993). Количественное определение растворимых форм элементов в буферных растворах выполнялось в лаборатории Государственной инспекции экологического контроля и анализа Республики Хакасия, г. Абакан. Аттестат аккредитации № РОСС.RU.0002.520665. Определение радиоактивных элементов U и Th выполнялось в ядерно-геохимической лаборатории Томского политехнического университета согласно инструкции НСАМ ВИМС № 410-ЯФ [3].

Биотестирование проб на содержание мутагенных соединений и обладающих токсическим эффектом проведено в Сибирском государственном медицинском университете г. Томска под руководством профессора Н.Н. Ильинских в соответствии с рекомендациями, широко апробированными на лекарственных препаратах и городской пыли [4, 5]. В процессе биотестирования изучено 20 проб, причем часть проб изучалась при разных концентрациях исходного материала в среде (20 % и 0,2 %). Для постановки эксперимента взяты линии дрозофил *yellow* (*y*) и *singed* (*sn*). У *yellow* – желтое тело и прямые щетинки, у *singed* – тело серого цвета и опаленные щетинки. Признаки *y* и *sn* являются сцепленными с полом рецессивными признаками. В пробирках с готовым кормом для размножения оставляли в течение суток 2 самок и 1 самца. Контрольные и опытные группы формировали одновременно и идентично. В дальнейшем следили за развитием нового поколения. Истертые до пудры пробы помещали в съедобную среду для дрозофил в процентном соотношении 25 % (проба отхода) и 75 % (съедобная среда), 20 % и 80 %, а также 0,2 % и 99,8 %. Причем, процентные величины 20 % и 25 % содержания пробы в среде определялись после постановки летальной дозы (LD_{50}).

Таблица 1. *Содержание токсичных элементов в отвалах и отходах производства*

Элементы	АООТ «Тейское рудоуправление»			ОАО «Угольный разрез Чалпан»	ОАО «Саянмрамор»				ПДК (ОДК) почв [6, 7]	Кларк в земной коре [8]
	ПО, 113*	ХХ, 122*	ШО, 15*	ЗШО, 24*	ПО, 515*	ШО, 529*	ПГО, 5211*	ЗШО, 543*		
As	**3,1**	**17,4**	**37,8**	1	**2,7**	0,92	1	**7,9**	2(5)	1,7
Cd	0,1	0,25	0,32	0,21	0,32	<0,05	<0,05	2	(1)	0,13
Hg	<0,03	<0,03	<0,03	0,03	<0,03	0,03	0,19	0,06	2,1	0,83
Se	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5		0,05
Pb	2,3	2,6	6,8	6,3	5,2	1	3,5	2,3	32 (65)	16
Zn	18,5	15,2	99,4	109	81,4	13,2	55,8	24,7	(110)	83
$Zn_б$	2,57	3,94		8,82		3,24	1,36	2,2	23	
B	51,6	57,4	350	175	26,7	12,6	12,5	122		12
Co	4,5	2,9	77,4	30,3	7,3	3,5	3	8,4		18
$Co_б$	н.о.	0,42		1,07		0,65	0,4	0,48	5	
Ni	17,5	6,4	**65,5**	**73,4**	34,9	11,2	30,5	25,5	(40)	58
$Ni_б$	2,49	1,26		1,6		0,31	6,78	1,1		
Cr	150	31,3	54,9	298	188	9,6	168	134		83
$Cr_б$	**143,2**	**76**		н.о.		**420,8**	**24,5**	**72,4**	6	
Cu	26,3	20,8	150	53,3	22,8	34,3	12,1	7,9		
$Cu_б$	**3,94**	**6,44**		**3,11**		**18,6**		**3,27**	3	
Ba	39,5	26,1	133	43,9	164	30,2	333	124		650
V	52	58	**162**	**256**	91	<50	<50	<50	150	90
Mn	470	329	792	810	514	108	533	272	1500	1000
Sr	70,5	164	35,1	1089	90,6	292	126	490		340
U	**5,8**	**19**	**11**	**7,8**	**10**	**4,6**	**4,3**	**9,2**		2,5
Th	3,2	2,7	1,4	9,9	10	3,1	**19**	10		13

Примечание: ** – номер пробы; $Me_б$ – вытяжка буферным раствором; н.о. – элемент не определен; выделены жирным шрифтом превышения относительно ПДК и ОДК*

Результаты исследования и их обсуждение

Геохимический анализ отходов горнодобывающих производств свидетельствует о неоднородности химического состава изучаемого материала. Из отходов ОАО "Саянмрамор" особо следует выделить золошлаковые отходы (ЗШО), в которых наблюдается превышения концентраций As, Cd, Cr и Cu относительно ПДК и ОДК. Породы гранитного отвала (ПГО) содержат высокие концентрации Cr, а также U и Th (табл. 1). Для золошлаков угольного разреза Чалпан характерны высокие концентрации Ni, Cr, V, а также подвижной формы Cu. Из радиоактивных элементов существенная концентрация отмечается для U (табл. 1). Отходы АООТ "Тейское рудоуправление" представлены породами отвала (ПО), шламом с отстойника (ШО) и хвостохранилища (ХХ). Значительные концентрации Cr, Cu, As и U устанавливаются в породах отвала "Северный". Материал из шламоотстойника характеризуется высокими концентрациями As, F, Cu, V, B и U (табл. 1).

Для исследуемых проб были рассчитаны коэффициенты концентраций относительно кларка в земной коре по А.П. Виноградову [8] и построены геохимические ряды, характеризующие отходы производства (табл. 2).

Согласно временного классификатора токсичных промышленных отходов [9], отходы горнодобывающего производства Республики Хакасии имеют IV класс и являются малоопасными. По новым критериям отнесения отходов к классу опасности [10], отходы горнодобывающего производства имеют V класс и являются практически неопасными [11].

Таблица 2. *Геохимические ряды в отвалах и отходах производства*

АООТ «Тейское рудоуправление»:
Породы отвала «Северный» (проба 113) – $Se_{10}\rightarrow B_{4,3}\rightarrow As_{1,82}\rightarrow Cr_{1,81}\rightarrow Ga_{1,32}\rightarrow Tl_{1}\rightarrow V_{0,58}\rightarrow Mn_{0,47}\rightarrow Hg_{0,36}\rightarrow Ni_{0,3}\rightarrow Li_{0,28}\rightarrow Co_{0,25}\rightarrow Zn_{0,22}\rightarrow Be_{0,21}\rightarrow Sr_{0,2}\rightarrow Pb_{0,14}\rightarrow Zr_{0,058}\rightarrow Cu_{0,05}$; Материал хвостохранилища (проба 122) – $As_{25,7}\rightarrow B_{17}\rightarrow Se_{10}\rightarrow Cd_{4,9}\rightarrow Co_{4,6}\rightarrow Pb_{1,74}\rightarrow Li_{1,35}\rightarrow Cu_{1,26}\rightarrow Ga_{1,05}\rightarrow Tl_{1}\rightarrow Mn_{0,98}\rightarrow V_{0,94}\rightarrow Zr_{0,88}\rightarrow Cr_{0,72}\rightarrow Zn_{0,55}\rightarrow Hg_{0,47}\rightarrow Ni_{0,45}\rightarrow Be_{0,34}\rightarrow Ba_{0,21}\rightarrow Sr_{0,15}$; Материал шламоотстойника (проба 15) – $B_{29,2}\rightarrow As_{22,24}\rightarrow Se_{10}\rightarrow Co_{4,3}\rightarrow Cu_{3,19}\rightarrow Cd_{2,46}\rightarrow V_{1,8}\rightarrow Li_{1,42}\rightarrow Zn_{1,2}\rightarrow Ni_{1,13}\rightarrow Ga_{1,05}\rightarrow Tl_{1}\rightarrow Mn_{0,79}\rightarrow Cr_{0,66}\rightarrow Pb_{0,43}\rightarrow Be_{0,37}\rightarrow Hg_{0,36}\rightarrow Ba_{0,2}\rightarrow Sr_{0,1}\rightarrow Zr_{0,06}$
ОАО «Саянмрамор»:
Породы отвала «грязный» (проба 515) – $Se_{10}\rightarrow Li_{2,85}\rightarrow Cd_{2,46}\rightarrow Cr_{2,27}\rightarrow B_{2,23}\rightarrow As_{1,59}\rightarrow Ga_{1,05}\rightarrow V_{1,01}\rightarrow Zn_{0,98}\rightarrow Zr_{0,65}\rightarrow Ni_{0,6}\rightarrow Be_{0,55}\rightarrow Mn_{0,51}\rightarrow Tl_{0,5}\rightarrow Cu_{0,49}\rightarrow Co_{0,41}\rightarrow Hg_{0,36}\rightarrow Pb_{0,33}\rightarrow Sr_{0,27}\rightarrow Ba_{0,25}$; Породы отвала № 1 «гранитный» (проба 5211) – $Ga_{1,05}\rightarrow B_{1,04}\rightarrow Zr_{1}\rightarrow Zn_{0,67}\rightarrow As_{0,59}\rightarrow V_{0,56}\rightarrow Mn_{0,53}\rightarrow Ni_{0,53}\rightarrow Ba_{0,51}\rightarrow Tl_{0,5}\rightarrow Cd_{0,38}\rightarrow Cr_{0,37}\rightarrow Cu_{0,26}\rightarrow Pb_{0,22}\rightarrow Co_{0,17}$; Шлам отстойника (проба 529) – $Se_{10}\rightarrow Ga_{1,05}\rightarrow B_{1,05}\rightarrow Sr_{0,86}\rightarrow Cu_{0,73}\rightarrow Zr_{0,71}\rightarrow V_{0,56}\rightarrow As_{0,56}\rightarrow Li_{0,51}\rightarrow Tl_{0,5}\rightarrow Be_{0,42}\rightarrow Cd_{0,38}\rightarrow Hg_{0,36}\rightarrow Co_{0,19}\rightarrow Ni_{0,19}\rightarrow Zn_{0,16}\rightarrow Cr_{0,12}\rightarrow Mn_{0,1}\rightarrow Pb_{0,06}\rightarrow Ba_{0,05}$; Золошлаковые отходы (проба 543) – $Cd_{15,38}\rightarrow B_{10,17}\rightarrow Se_{10}\rightarrow As_{4,65}\rightarrow Cr_{1,61}\rightarrow Sr_{1,44}\rightarrow Ga_{1,05}\rightarrow Hg_{0,72}\rightarrow Zr_{0,69}\rightarrow V_{0,56}\rightarrow Tl_{0,5}\rightarrow Co_{0,47}\rightarrow Ni_{0,44}\rightarrow Li_{0,31}\rightarrow Zn_{0,3}\rightarrow Mn_{0,27}\rightarrow Be_{0,24}\rightarrow Ba_{0,19}\rightarrow Cu_{0,17}\rightarrow Pb_{0,14}$
ОАО «Угольный разрез Чалпан»:
Золошлаковые отходы (проба 24) – $B_{14,6}\rightarrow Se_{10}\rightarrow Cr_{3,59}\rightarrow Sr_{3,2}\rightarrow V_{2,84}\rightarrow Li_{2,17}\rightarrow Co_{1,68}\rightarrow Cd_{1,62}\rightarrow Zn_{1,31}\rightarrow Ni_{1,27}\rightarrow Be_{1,21}\rightarrow Cu_{1,13}\rightarrow Ga_{1,05}\rightarrow Mn_{0,81}\rightarrow As_{0,59}\rightarrow Tl_{0,5}\rightarrow Pb_{0,39}\rightarrow Hg_{0,36}\rightarrow Ba_{0,07}\rightarrow Zr_{0,06}$

Существующие методики расчета не позволяют получить объективную информацию, тогда как из анализа литературного обзора следует, что как отдельные химические элементы, так и их соединения могут оказывать токсическое действие [12–14].

В связи с вышеизложенным, было предпринято: провести оценку экологической опасности отходов отдельных производств Республики Хакасия с использованием метода биотестирования. При биотестировании в эксперименте оценивались следующие биологические показатели: соотношение полов, морфозы, высота подъема куколок, средняя длина тела и крыла по отношению к концентрации пробы в среде (опыт/контроль). При обработке данных был использован математический метод: критерий соответствия X^2 [4].

Критерий соответствия X^2 (***Хи**-квадрат*) применялся для определения степени соответствия фактических данных к ожидаемым [4]:

1) Соотношение полов. Соотношение полов – это критерий, являющийся доказательством токсичности проб отходов. Меньшее количество самцов по отношению к самкам свидетельствует о наличии токсического действия пробы. Подтверждением достоверности полученных результатов может служить критерий соответствия X^2, подсчитанный на основе данных по количеству самцов и самок в пробах. Полученные величины X^2 в пробах 5211, 15, 24, 515 превышают критическое значение 3,84 (при числе степеней свободы равном 1, вероятности 0,05, согласно таблице X^2 [4]), следовательно, предположение о том, что соотношение самок к самцам в контрольной среде и среде с добавлением пробы одинаково (1:1), неверно. Соответственно, можно сделать вывод, что состав проб исследуемых отходов оказал воздействие на соотношение полов дрозофил. В пробах 122, 543 и 529 величина X^2 не превышает 3,84 и свидетельствует о том, что по данному показателю токсического действия проб не наблюдается.

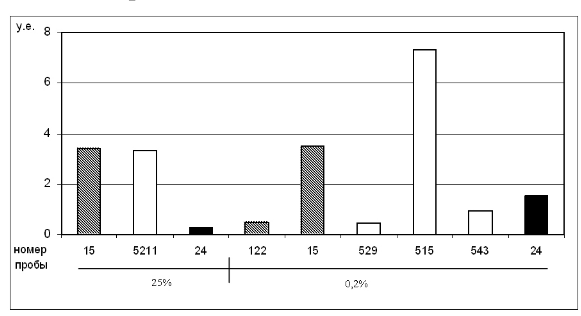


Рис. 1. *Изменчивость показателя* ***X***

Следует отметить, что в некоторых пробах при концентрациях 20 % и 25 % значение X^2 меньше 3,84, а при концентрации пробы 0,2 % больше 3,84, то есть этот показатель более эффективен в среде с меньшей концентрацией пробы (0,2 %).

С целью определения степени влияния пробы на соотношение самок к самцам, нами был введен показатель X (рис. 1). Он рассчитывается, как отношение полученной величины X^2 к табличному значению (3,84). Это отношение показывает, насколько полученная величина X^2 больше табличного значения, что позволяет определить, в какой пробе наиболее сильно влияние спектра химических элементов.

Наибольшее токсическое действие оказывает состав пробы 515 и менее значительное воздействие характерно для остальных проб. В пробе 15 превышение величины X зафиксировано как при 25 %, так и при 0,2 % концентрации пробы в среде.

2) Морфозы. Морфозы – это ненаследуемые отклонения от нормального строения, не имеющие адаптивного значения. Примером может служить отсутствие щетинок, "помятые" крылья и так далее. В исследуемых пробах отмечалось отсутствие щетинок *pdc, adc* и "помятые" крылья. Исследователями, изучавшими в качестве тест-объекта жужелиц, отмечено, что с усилением антропогенной нагрузки может наблюдаться увеличение изменчивости морфологических признаков, минимальная величина которой указывает на стабильность индивидуального развития и, соответственно, стабильность условий среды [12]. Кроме того, было установлено, что среднее число морфоз на одну особь было выше у самцов, но это не было связано с уровнем антропогенной нагрузки. Результаты исследований с использованием в качестве тест-объекта *D. melanogaster* представлены в табл. 3.

Таблица 3. *Соотношение самок к самцам дрозофил с морфозами*

Проба	Количество самцов, %		Количество самок, %	
	контроль	опыт	контроль	опыт
ОАО «Тейское рудоуправление», проба 15	70,3	61,5	29,7	38,5
ОАО «Саянмрамор», проба 515	70,3	73,3	29,7	26,7
ОАО «Угольный разрез Чалпан», проба 24	100	81,8	0	18,2

В контрольных группах характерно большее количество морфозов у самцов, а также в средах с пробами. При сравнении же контроля и опыта для определения степени влияния в зависимости от пола установлено, что в первом случае (проба 15) токсическое действие пробы отражается на самках больше в опыте, чем в контроле. Для проб отходов ОАО "Саянмрамор" нет значимых отличий между контролем и опытом, тогда как в пробе золошлаковых отходов ОАО "Угольный разрез Чалпан" в контроле были обнаружены с морфозами только самцы, а в опыте уже и самки. Следует заметить, что морфозы были обнаружены только при 0,2 % содержании пробы в среде. На основе данных по количеству морфозов была подсчитана величина X^2 в пробах отходов исследуемых предприятий.

Для определения степени влияния пробы на возникновение морфозов был впервые введен по-

казатель ***Хм***. Он рассчитывался, как выше указанный, но для значений, полученных по результатам относительно наличия морфозов у мух. Это отношение показывает, насколько полученная величина X^2 больше табличного значения. В изучаемом материале значение ***Хм*** больше табличного 3,84 для проб 122, 15, 529 и 24 (рис. 2). Соответственно химические компоненты, присутствующие в пробах в повышенных количествах, оказывают влияние на появление морфоз.

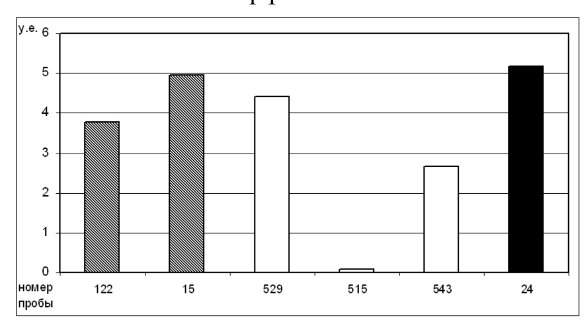


Рис. 2. *Изменчивость показателя **Хм***

3) Высота подъема куколок над средой. Для определения вероятности оказываемого влияния пробы на развитие *D. melanogaster* используется параметр, характеризующий высоту подъема куколок. Любые отклонения от нормы, в данном случае от контроля, свидетельствуют о возможном воздействии проб отходов на живые организмы.

Таблица 4. *Подъем куколок дрозофилы над средой*

Номер пробы	Максимальная высота, мм		Минимальная высота, мм	
	контроль	опыт	контроль	опыт
Концентрация вещества в среде 25 %				
5211	27,92±2,3	27,46±3,0	0,67±0,1	0,86±0,3
Концентрация вещества в среде 0,2 %				
122	29,6±2,3	29,2±3,2	1,6±0,5	1,6±0,5
15	29,6±2,3	29,8±5,0	1,6±0,5	2,8±1,0
529	29,6±2,3	18,1±5,5	1,6±0,5	1±0,3
24	29,6±2,3	28,2±2,3	1,6±0,5	1,5±0,9

Из приведенной выше таблицы видно, что независимо от концентрации исследуемого вещества в среде максимальная высота поднятия куколок в опыте и контроле разных проб кардинально не меняется. Однако, в пробах 529 и 15 при концентрации 0,2 %, различия значимы. В пробе 529 максимальная высота поднятия в контроле значительно больше, а в 15 – минимальная меньше, чем в опыте. Соответственно спектр элементов, находящийся в пробах оказывает воздействие на такой параметр, как максимальное и минимальное поднятие куколок над средой, уменьшая или увеличивая ее.

В пробах 5211 (25 % пробы) и 529 (0,2 %) изучаемые параметры в опыте имели большую величину, чем в контроле, что свидетельствует об отрицательном влиянии вещества проб на *D. melanogaster*.

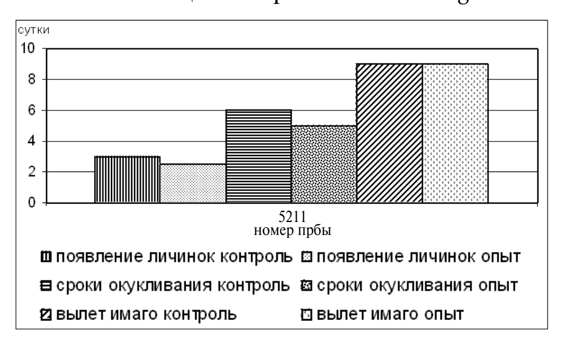


Рис. 3. *Сроки развития D. melanogaster в опыте (проба 5211) и контроле*

4) Длина тела и крыльев, сроки развития. Следует учесть, что *D. melanogaster* относится к насекомым с полным превращением, т.е. в своем развитии она проходит стадии яйца, личинки, куколки и имаго. По этим признакам наблюдается аналогичная ситуация (табл. 5). Резких различий не отмечается, а иногда фиксируются абсолютно одинаковые величины контроля и опыта (рис. 3).

Выводы

1. Повышенный кларк концентрации в исследуемых пробах отходов производства имеют следующие сквозные элементы Se, As, Cr, Ga, Cd и Tl. Однако в отдельных пробах присутствуют специфические элементы (V, Zn, Ni, Hg, Be, Zr, Co, U и Cu), которые могут оказывать в большей степени токсическое (по ***X*** или по ***Хм***) действие. По результатам биотестирования, токсическим действием обладают все пробы, кроме материала золошлаковых отходов ОАО "Саянмрамор". Соответственно, элементы, находящиеся в концентрациях превышающих нормативные показатели, могут быть с большей степенью вероятности отнесены к числу, вызывающих токсический эффект. В конкретном случае для отходов АООТ "Тейское рудоуправление" (материал пород отвала, шламоотстойника, хвостохранилища), возможно, основное негативное действие связано с присутствием в повышенных концентрациях As, Ni, V, U, а также подвижной формы (п.ф.) Cr и Cu. Отходы ОАО "Саянмрамор" (материал шламоотстойника и породы отвала "грязный") содержат в своем составе повышенные концентрации U, V, а также Cr (п.ф.) и Cu (п.ф.). Породы отвала № 1 "гранитный" характеризуются набором следующих элементов – U, Th и Cr (п.ф.). Для золошлаковых отходов ОАО "Угольный разрез Чалпан" характерны повышенные концентрации V, Ni, U и Cu (п.ф.).

Таблица 5. *Значения измеряемых характеристик дрозофилы*

Номер пробы	Средняя длина тела, мм				Средняя длина крыла, мм			
	самка		самец		самка		самец	
	контроль	опыт	контроль	опыт	контроль	опыт	контроль	опыт
122	5,7±0,06	5,7±0,61	4,9±0,04	5±0,06	4,7±0,05	4,5±0,06	3,8±0,04	3,9±0,04
24	5,7±0,06	5,5±0,64	4,9±0,04	4,5±0,05	4,7±0,05	4,4±0,04	3,8±0,04	3,8±0,05

2. Проведенные исследования позволили впервые установить специфические особенности влияния отходов производства железорудной, угольной и обрабатывающей промышленности Республики Хакасия методом биотестирования, отражающие их влияние на живые организмы, с расчетом критериев (***X*** и ***Хм***) и учетом особенностей развития дрозофил. Это позволит распространить данный опыт на другие отрасли и регионы России.

Работа выполнена при поддержке Министерства образования РФ (грант на научно-исследовательские работы аспирантов высших учебных заведений А03-2.13-765), а также Томского политехнического университета (конкурс 2004 г. на соискание грантов на проведение молодыми учеными научных исследований в ведущих научно-педагогических коллективах).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Куценко В.В. Угрозы экологической безопасности РФ и пути их снижения // Гигиена и санитария. – 2003. – № 6. – С. 24–26.
2. Геоэкологические проблемы горнодобычных предприятий Республики Хакасия / Горно-геологическое образование в Сибири. 100 лет на службе науки и производства. Секция: Гидрогеология и инженерная геология. Геоэкология и мониторинг геологической среды: Матер. Межд. науч.-техн. конф. – Томск: Изд-во ТПУ, 2001. – С. 197–200.
3. Многокомпонентный инструментальный нейтронно-активационный анализ почв и других объектов окружающей среды на токсические элементы. Инструкция НСАМ ВИМС № 410-ЯФ. – М., 2001. – 7 с.
4. Беленький М.Л. Элементы количественной оценки фармакологического эффекта. – Л.: Государственное изд-во медицинской литературы, 1963. – 152 с.
5. Леонидов Н.Б., Обухова Л.К., Окладнова О.В., Романенко Е.Б. Влияние полиморфных форм метилурацила на скорость развития и продолжительность жизни Drosophila melanogaster // Бюллетень экспериментальной биологии и медицины. – 1999. – Т. 127. – № 6. – С. 661–664.
6. Обобщенные перечни предельно допустимых концентраций вредных веществ в почве. Приложения 1, 2 к письму ЦСИ Госкомприроды РСФСР от 18.12.90. № ЦС-299/15-73. – М.: ЦСИ Госкомнедра, 1990. – 8 с.
7. Ориентировочно допустимые концентрации (ОДК) тяжелых металлов и мышьяка в почвах. Гигиенические нормативы. ГН 2.1.7.020-94. – М.: Госкомэпиднадзор России, 1995. – 7 с.
8. Виноградов А.П. Среднее содержание химических элементов в главных типах изверженных горных пород земной коры // Геохимия. – 1962. – № 7. – С. 555–571.
9. Временный классификатор токсичных промышленных отходов и методические рекомендации по определению класса токсичности промышленных отходов. Утв. Минздравом СССР и Госкомом СССР по науке и технике (№ 4286-87). Продлено письмом Минприроды РФ от 17.05.95 г. № 05-31-1519. – М., 1987. – 8 с.
10. Критерии отнесения опасных отходов к классу опасности для окружающей природной среды. Утв. Приказом МПР России от 15.06.01 г. № 511. – М., 2001. – 9 с.
11. Язиков Е.Г., Худяков В.М., Азарова С.В. Отвалы горно-добычного производства: комплексная оценка токсичности (на примере объектов Республики Хакасия) // Известия вузов. Геология и разведка. – 2003. – № 3. – С. 93–97.
12. Бутовский Р.О. Гонгальский К.Б. Использование морфометрических параметров популяции для оценки уровня антропогенного воздействия // Биоиндикация радиоактивных загрязнений. – М.: Наука, 1999. – С. 308–313.
13. Османов И.М. Роль тяжелых металлов в формировании заболеваний органов мочевой системы // Российский вестник перинатологии и педиатрии. – 1996. – № 1. – С. 36–39.
14. Эйхлер В. Яды в нашей пище: Пер. с нем. – М.: Мир, 1988. – 144 с.